

令和元年6月25日現在

機関番号：34406

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K18161

研究課題名(和文)巨大地震・強風時における免震装置の機能維持性能評価と簡易予測モデルの提案

研究課題名(英文)Proposal of simplified prediction model and evaluation of function maintenance performance of seismic isolation system under huge earthquake and strong wind

研究代表者

白山 敦子(Shirayama, Atsuko)

大阪工業大学・工学部・講師

研究者番号：00736077

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：巨大地震・強風時における免震装置の機能維持性能、特に「残留変形」に着目し、解析及び実験により、総合的に検証した。検討対象となる免震建物モデルを作成し、地震応答解析により、様々な地震動に対して、免震装置に生じる「残留変形」などに着目してパラメトリックスタディを行い、定量的に把握した。また、実験では、免震装置に軸力および水平荷重を与え変形させた後、水平荷重のみを除去した上で長時間放置することにより、どの程度回復できるかを検討した。さらに、解析結果と実験結果を比較検討し、新たな評価手法や簡易予測指標を提案し、実務構造設計時における免震装置の検討に対して大きな助けとなる資料を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後、発生が想定されている長周期・大都市直下の「巨大地震」ならびに、台風、竜巻などの「強風」は、これまでの設計レベルを大幅に上回る。それらへの安全に関する対策のためには、実務構造設計に用いられている免震装置の復元力モデルや減衰モデルに関して、新たな評価手法ならびに簡易予測指標を提案が必要であり、それらのモデルの高度化が応答推定精度の向上に不可欠である。性能を本研究で明らかにすることにより、実構造設計時における免震建築物の安全性向上に大きく貢献することができる。

研究成果の概要(英文)：I focused on the function maintenance performance of the seismic isolation system at the huge earthquake and strong wind, especially "residual deformation", and comprehensively verified it by analysis and experiment. A base isolation building model to be studied was created, and a parametric study was conducted quantitatively by focusing on "residual deformation" and the like that occur in the base isolation device for various earthquake motions. In addition, in the experiment, after axial force and horizontal load were given to the seismic isolation device to cause deformation, only horizontal load was removed and it was examined how much recovery could be achieved by leaving it for a long time. Furthermore, the analysis results and the experimental results were compared, new evaluation methods and simplified prediction indicators were proposed for practical structure design were presented.

研究分野：建築学 建築構造・材料

キーワード：免震建物 巨大地震・強風時 応答解析 機能維持性能 残留変形 繰り返し特性変化 耐震設計法

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2011年に発生した東日本大震災において、巨大地震や大津波により数多くの建築物が倒壊・崩壊、さらには、引き続き生じた余震や、これらに伴い引き起こされた地盤沈下・液状化、土砂災害や火災等により、被害は極めて広範囲にわたり、未曾有の複合的な災害となった。また、天井、エスカレーターの落下、長周期地震動による超高層建築物の共振による非構造部材の被害、庁舎や避難所の損傷による機能停止等も発生した。

その中で、免震構造を採用した建築物は高い耐震性を証明し、それ以降、免震構造への社会的ニーズは、急激に高まっている。

今後、東海・東南海・南海の連動地震や首都直下地震等の発生が想定されており、南海トラフ地震発生時の東海地方が大きく被災するケースでは、全壊及び焼失棟数が約95万から238万棟、死者が約8万から32万人と、極めて大きな被害の数値が示されている。しかしながら、免震建築物の構造設計時において想定できる地震動は限られており、このような建築基準法が想定しているレベルを超える巨大地震動下での免震建築物の安全性について、明らかにされておらず、個々の免震建築物の設計手法、特に免震装置の終局状態について解明することに対する緊急性は非常に高い。

さらに、近年、免震建築物については、超高層化に伴う風荷重の増加により、風の影響を受けやすくなっており、免震構造に対する耐風設計が問題視されている。

巨大地震や強風時に建築物が元の位置にもどらず、免震装置に「残留変形」が生じる場合がある。一方で、免震装置によっては弾性剛性を有するため、免震装置の組み合わせによっては、多少の残留変形であれば時間をかけて元の位置に回帰(回復)するという報告もある。どのような免震装置の組み合わせで、どの程度の残留変形が発生するのか、また、どの程度許容できるかといった具体的な指標およびその根拠となる実験結果が不足しているのが現状である。

### 2. 研究の目的

近年、事業継続性(BCP)や耐震安全性確保の観点から、免震構造を採用する建物が増えており、2011年に発生した東日本大震災において、免震構造は高い耐震性を発揮した。免震構造への社会的ニーズは、急激に高まっており、様々な種類の免震装置が開発され、それらを組み合わせることで適切な設計が行われている。しかしながら、今後、想定されている長周期・大都市直下の極大地震は、これまでの設計レベルを大幅に上回る。さらに、免震構造の超高層化に伴う風荷重の増加により、風の影響を受けやすくなっており、耐風設計が問題視されている。そこで本研究では、実験ならびに解析的検討により、巨大地震や強風発生後に、免震装置に生じる「残留変形」および「回復性状」を明確にし、高性能な建物を実現するための設計時の指標として資するデータを提供することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、巨大地震・強風時における免震装置の機能維持性能、特に「残留変形」に着目し、解析及び実験により、総合的に検証することを計画した。検討対象となる免震建物モデルを作成し、地震応答解析により、様々な地震動に対して、免震装置に生じる「残留変形」などに着目してパラメトリックスタディを行い、定量的に把握した。その地震応答解析結果をもとに、実験により検証を行った。実験は、免震装置単体および複数の種類を組み合わせた場合を想定し、免震装置に軸力および水平荷重を与え変形させた後、水平荷重のみを除去した上で長時間放置することにより、どの程度回復できるかを検討した。解析結果と実験結果を比較検討

し、入力波形、特に巨大地震・強風時における免震装置の復元力特性について、新たな評価手法や簡易予測指標を提案し、その妥当性を定量的に示し、実務構造設計時における免震装置の検討に対して大きな助けとなる資料を提示した。

#### 4. 研究成果

基礎免震建物を対象として、免震部材の特性変動が小さい免震モデルとして「高減衰ゴム系積層ゴム支承＋弾性すべり支承」のケース、特性変動が大きい免震モデルとして「鉛プラグ挿入型積層ゴム支承＋弾性すべり支承」の免震部材の組み合わせ配置の異なる2つのモデルを用いて、巨大地震・長周期地震動に対する免震部材の繰り返し依存性(特性変動)を考慮した簡略法による解析を行い、対象地域の免震建物応答に及ぼす傾向、免震部材の組み合わせによる応答への影響、免震層の過大変形に対する検討をそれぞれ行った。また、長周期地震動により免震層の変形がクリアランスを超えるケースについては、衝突解析を行い、以下の知見を得た。

巨大地震を想定した地震として、南海トラフを想定した長周期地震動波形が、対象地域毎に、公表されている計10波を入力地震動として採用した。

大阪圏	OS1	此花(OSKH02)	中京圏	CH1	名古屋市港区	静岡圏	SZ1	焼津(SZO016)	関東圏	KA1	新宿(KGIN)	
	OS2	堺(OSK006)		CH2	津島(AIC003)		SZ2	浜松(SZO024)		波形継続時間：655.36秒		
	OS3	大阪(OSK005)		CH3	名古屋(E13)		SZ3	静岡(SZO014)				

- 1) 「高減衰ゴム系積層ゴム支承＋弾性すべり支承」のケースは、長周期地震動に対する繰り返し依存性による免震部材の特性変動が小さいため、部材の特性変動を考慮しない「高減衰ゴム系積層ゴム支承＋弾性すべり支承」のケースとの最大層せん断力係数や免震層の変形差も僅かであり、長周期地震動の影響による応答の増減幅は小さいことがわかる。
- 2) 「鉛プラグ挿入型積層ゴム支承＋弾性すべり支承」のケースは、免震部材の特性変動が大きいため免震層の変形増大を招きやすく、特にOS1の部材の特性変動を考慮した場合に顕著である。しかしながら、免震部材のエネルギー吸収能力の低下を補うため、オイルダンパー等の追加により、変形の増大を抑えることが可能である。
- 3) 「高減衰ゴム系積層ゴム支承＋弾性すべり支承」のケースは、免震部材の特性変動が小さく、応答スペクトルによる応答性状の把握が比較的容易であるが、「鉛プラグ挿入型積層ゴム支承＋弾性すべり支承」のケースについては、部材の特性変動が大きく、長周期地震動の検討対象地域によっても、免震層の変形量や上部構造の応答性状が変化する。
- 4) 「鉛プラグ挿入型積層ゴム支承＋弾性すべり支承」のケースにおけるOS1のケースのように、免震層の変形が増大して、擁壁に衝突した場合、免震部材の特性変化を全加振時間で評価するか、衝突時刻で評価するかによって、変位応答に2割程度の差異が生じた。また、このような現象から、簡略法を用いた評価法では、上部構造と免震層の最大応答に関わる同時性について問題があるものと考えられ、今後、簡略法が免震層の評価にのみ用いるのか、免震建物全体の評価に用いるかの妥当性について検証を進めていきたい。

## 5 . 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計1件)

- 1 . 「南海トラフ地震における免震部材の繰り返し特性変化を考慮した免震建物の応答性状: -簡略法を用いた免震部材の組み合わせによる検討-」、竹内貞光、中島 陽、山下忠道、伊藤真二、犬伏徹志、白山敦子、日本建築学会技術報告集 25(59) 、査読あり、pp.97-102、2019年

### 〔学会発表〕(計9件)

- 1 . 「基礎免震建物の長周期地震動に対する簡易応答評価法の精度検証 その1 高減衰ゴム系積層ゴム支承のケース」、中島 陽、白山敦子、竹内貞光、伊藤真二、山下忠道、日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集、査読なし、2019年
- 2 . 「基礎免震建物の長周期地震動に対する簡易応答評価法の精度検証 その2 鉛プラグ挿入型積層ゴム支承のケース」、伊藤真二、白山敦子、中島 陽、竹内貞光、山下忠道、日本 建築学会大会(北陸)学術講演梗概集、査読なし、2019年
- 3 . 「基礎免震建物の長周期地震動に対する簡易応答評価法の精度検証 その3 累積吸収エネルギーの割合に応じた検討」、白山敦子、中島 陽、竹内貞光、伊藤真二、山下忠道、日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集、査読なし、2019年
- 4 . 「兵庫県南部地震以降の地震観測記録に基づく各種応答スペクトルによる設計用地震力の検討」、清水英、白山敦子、山下忠道、日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集、査読なし、2019年
- 5 . 「南海トラフ地震を想定した長周期地震動に対する基礎免震建物の応答特性 その1 大阪圏における免震部材配置毎の比較」、伊藤真二、山下忠道、白山敦子、日本建築学会大会(東北)学術講演梗概集、査読なし、pp. 805-806、2018年
- 6 . 「南海トラフ地震を想定した長周期地震動に対する基礎免震建物の応答特性 その2 大阪-中京-静岡-関東圏の比較」、山下忠道、伊藤真二、白山敦子、日本建築学会大会(東北)学術講演梗概集、査読なし、pp. 807-808、2018年
- 7 . 「南海トラフ地震を想定した長周期地震動に対する基礎免震建物の応答特性 その3 高減衰ゴム系積層ゴムの繰り返し特性変化」、中島陽、竹内貞光、山下忠道、伊藤真二、白山敦子、日本建築学会大会(東北)学術講演梗概集、査読なし、pp. 809-810、2018年
- 8 . 「南海トラフ地震を想定した長周期地震動に対する基礎免震建物の応答特性 その4 免震層の特性変化を考慮した擁壁衝突挙動、白山敦子、犬伏徹志、山下忠道、伊藤真二、日本建築学会大会(東北)学術講演梗概集、査読なし、pp. 811-812、2018年
- 9 . 「地盤の液状化を考慮した入力地震動の簡易評価法の提案」、白山敦子、山下忠道、日本建築学会大会(中国)学術講演梗概集、査読なし、pp. 349-350、2017年